Teoría Unificada del Residuo Cuántico–Viscoso (TURC-V)

Dr. Carlos David Bianco Moreno

C.I.: 17.570.016

carlosdavid1985@hotmail.es

Venezuela 20/12/2025

Introducción

La **Teoría Unificada del Residuo Cuántico–Viscoso (TURC-V)** propone que la componente cosmológica responsable de la aceleración cósmica no es una única entidad fundamental (una constante cosmológica), sino el resultado combinado de dos mecanismos físicos coherentes y complementarios:

- **Residuo cuántico (TRC):** un grado de libertad efectivo $S(x)$—el *imprint* del vacío cuántico— que recoge la respuesta no-adiabática del vacío al integrar grados de libertad pesados. La dinámica de S incluye términos conservativos (potencial efectivo) y no-conservativos (disipación) derivados de la parte imaginaria de la autoenergía en la formulación real-time (Schwinger–Keldysh).
- **Disipación termodinámica viscosa (TRT-C):** un comportamiento macroscópico del fluido cósmico con **viscosidad de volumen** ζque genera una presión efectiva negativa $p_{\text{visc}} = -3\zeta H$y una transferencia de energía desde la materia hacia un componente residual.

TURC-V integra ambos efectos en una acción efectiva y en un sistema de ecuaciones de fondo y de perturbación que son causalmente derivados, controlables mediante una expansión efectiva y directamente confrontables con observaciones cosmológicas y pruebas locales. El objetivo es (i) derivar un término fuente $\mathcal{J}$controlado desde microfísica, (ii) explicar la pequeñez de la energía residual sin ajuste fino, y (iii) proporcionar un marco numérico reproducible para confrontación con datos.

Resumen

- **Estructura del modelo:** la dinámica cosmológica incluye el fluido estándar (materia + radiación), el campo efectivo Sy la disipación viscosa. La energía residual total ρ_{res}es la suma de la energía almacenada en Sy de la energía acumulada por procesos viscosos: $\rho_{\text{res}} = \rho_S + \rho_\zeta$con transferencias Q_χ(cuántica) y Q_ζ(viscosa).
- **Origen microfísico de la disipación:** integrando campos pesados χacoplados a Sse obtiene una autoenergía retarded Σ_{ret}. La parte imaginaria de Σ_{ret}genera un término de fricción efectivo $\gamma(S)\dot{S}$en la ecuación semiclasica de S. En el límite Markoviano la fuente es $\mathcal{J} = \gamma(S)\dot{S}$y la potencia transferida por unidad de volumen es $Q_\chi = \gamma(S)\dot{S}^2$.
- **Origen macroscópico de la disipación viscosa:** la presión viscosa de volumen $p_{\text{visc}} = -3\zeta(H, \rho_m)H$conduce a una tasa de conversión de energía $Q_\zeta = 9\zeta(H, \rho_m)H^2$.
- **Pequeñez natural:** γes loop-suprimida y proporcional a potencias de gy a $1/m_\chi$; ζpuede ser pequeña por tiempos de relajación largos o por secciones eficaces pequeñas. Simetrías (p. ej. shift symmetry en S) protegen $U(S)$y evitan renormalizaciones grandes. Con parámetros razonables la transferencia total satisface $Q/(H\rho_m) \ll 1$en épocas tempranas, compatible con CMB.

- **Predicciones:** ligera evolución de $w_{\mathrm{eff}}(z)$, desviaciones sub-% a varios % en $H(z)$según parámetros, y supresión moderada del crecimiento $f\sigma_8$. TURC-V es falsable con datos de próxima generación (Euclid, Roman, LSST).

Formalismo matemático

1. Acción efectiva y campos

Planteamos la acción covariante

$$S_{\mathrm{tot}} = \int d^4x\sqrt{-g}\left[\frac{1}{16\pi G}R - \frac{1}{2}Z(S)\nabla^{\mu}S\nabla_{\mu}S - U(S) + \mathcal{L}_{\mathrm{fluid}} + \mathcal{L}_{\mathrm{int}}(\chi, S)\right],$$

donde:

- $Z(S) > 0$normaliza la cinética de S.
- $U(S)$es el potencial efectivo (incluye contrapartes renormalizadas).
- $\mathcal{L}_{\mathrm{fluid}}$describe materia y radiación como un fluido relativista con posible viscosidad de volumen.
- $\mathcal{L}_{\mathrm{int}}(\chi, S)$contiene acoplamientos a grados de libertad pesados χ, por ejemplo $-\frac{1}{2}g^2S^2\chi^2$.

2. Integración de grados de libertad pesados y disipación

Usando la formulación Schwinger–Keldysh (real-time) para integrar χse obtiene una acción efectiva no-local para Scon kernel retarded $\Sigma_{\mathrm{ret}}(t, t')$. La ecuación semiclasica para Ses

$$Z(S)(\ddot{S} + 3H\dot{S}) + \frac{1}{2}Z'(S)\dot{S}^2 + U'(S) + \int_{t_0}^{t} d\,t'\,\Sigma_{\mathrm{ret}}(t, t')\dot{S}(t') = 0.$$

En el límite de memoria corta (Markoviano) la convolución se aproxima por $\gamma(S)\dot{S}$, con

$$\gamma(S) \simeq \frac{g^4}{8\pi\, m_\chi}\, F\,(\frac{m_\chi}{H}, \frac{T}{m_\chi}),$$

donde Fes adimensional y suprime la disipación para $m_\chi \gg H$o en vacío. Entonces definimos la **fuente cuántica**

$$\boxed{\mathcal{J}_\chi = \gamma(S)\dot{S}, Q_\chi = \gamma(S)\dot{S}^2.}$$

3. Viscosidad de volumen y término viscous

Parametrizamos la viscosidad de volumen como

$$\zeta(H,\rho_m) = \zeta_0\left(\frac{\rho_m}{\rho_{m,0}}\right)^{\alpha},$$

y definimos la **transferencia viscosa**

$$\boxed{Q_\zeta = 9\,\zeta(H,\rho_m)\,H^2.}$$

4. Ecuaciones de fondo en FLRW

En un fondo homogéneo e isótropo con $S = S(t)$y materia no relativista:

$$Z(S)(\ddot{S} + 3H\dot{S}) + \frac{1}{2}Z'(S)\dot{S}^2 + U'(S) = -\gamma(S)\dot{S},$$
$$\dot{\rho}_m + 3H\rho_m = -Q_\chi - Q_\zeta,$$
$$\dot{\rho}_r + 4H\rho_r = 0,$$
$$\rho_S = \frac{1}{2}Z(S)\dot{S}^2 + U(S), p_S = \frac{1}{2}Z(S)\dot{S}^2 - U(S),$$
$$H^2 = \frac{8\pi G}{3}(\rho_m + \rho_r + \rho_S).$$

Comentarios: el término $-\gamma\dot{S}$actúa como fricción; la energía disipada aparece en Q_χy se suma a la energía residual. La conservación total se mantiene: la suma de las ecuaciones de continuidad da $\dot{\rho}_{\rm tot} + 3H(\rho_{\rm tot} + p_{\rm tot}) = 0$.

5. Ecuaciones de perturbación lineal (gauge Newtoniano)

Trabajando en Fourier con modo ky en gauge Newtoniano (Φ,Ψ), las ecuaciones relevantes son:

- **Poisson (00):**

$$-2\frac{k^2}{a^2}\Phi + 6H(\dot{\Phi} + H\Psi) = 8\pi G\,\delta\rho_{\rm tot}.$$

- **Continuidad materia:**

$$\dot{\delta}_m + \frac{\theta_m}{a} - 3\dot{\Phi} = -\frac{Q}{\rho_m}\delta_m - \frac{\delta Q}{\rho_m}.$$

- **Euler materia:**

$$\dot{\theta}_m + H\theta_m - \frac{k^2}{a}\Psi = -\frac{Q}{\rho_m}\theta_m.$$

- **Perturbación de la transferencia total $Q = Q_\chi + Q_\zeta$:**

$$\delta Q_\chi = 2\gamma \dot{S}\, \delta\dot{S} + \gamma' \dot{S}^2\, \delta S + \gamma \dot{S}^2 \frac{\delta H}{H},$$

$$\delta Q_\zeta = 9[\zeta'(\rho_m)\delta\rho_m\, H^2 + 2\zeta H\, \delta H].$$

- **Ecuación para δS:**

$$Z(\delta\ddot{S} + 3H\delta\dot{S}) + Z'\dot{S}\,\delta\dot{S} + \left(\frac{k^2}{a^2}Z + U''_{\text{eff}}\right)\delta S + \cdots = -\gamma\,\delta\dot{S} - \gamma'\dot{S}\,\delta S + \text{fuentes métricas},$$

donde U''_{eff}incluye correcciones por integración de χ. Los términos omitidos son combinaciones de $\Phi, \Psi, \delta H$que se implementan explícitamente en el solver.

Esquema numérico y solver

2. Variables adimensionales y escalado

Para estabilidad numérica trabajamos con:

$$N = \ln\, a, \Omega_i = \frac{\rho_i}{\rho_{c,0}}, E \equiv \frac{H}{H_0}, S(N), S'(N) = \frac{\dot{S}}{H}.$$

Definimos $\tilde{\gamma} \equiv \gamma/H_0$y $\tilde{\zeta}_0 \equiv \zeta_0 H_0/\rho_{c,0}$. El término de transferencia adimensional es

$$Q_{\text{dimless}} = \tilde{\gamma}(S')^2 E + 9\tilde{\zeta}_0\, \Omega_m^\alpha E^2,$$

con factores numéricos ajustados según la convención de normalización.

2. Sistema de ODEs en N(fondo)

Integrar el vector de estado

$$\mathbf{y} = \{S, S', \Omega_m, \Omega_r, \Omega_S\}$$

con ecuaciones:

$$S' = \frac{\dot{S}}{H},$$
$$S'' = -\left(3 + \frac{\gamma}{H}\right)S' - \frac{U'(S)}{Z(S)H^2} - \frac{Z'(S)}{2Z(S)}(S')^2,$$
$$\Omega_m' = -3\Omega_m - \frac{Q_{\text{dimless}}}{E},$$
$$\Omega_r' = -4\Omega_r,$$
$$\Omega_S' = -3(1 + w_S)\Omega_S + \frac{Q_{\text{dimless}}}{E},$$

donde $w_S = p_S/\rho_S$y $E^2 = \Omega_m + \Omega_r + \Omega_S$.

3. Integrador y tolerancias

- **Integrador fondo:** solve_ivp con method='BDF' o Radau (rigidez posible).
- **Tolerancias:** rtol=1e-9, atol=1e-12.
- **Paso de integración:** variable; usar densidad de puntos en Nsuficiente para interpoladores de fondo.

4. Perturbaciones: sistema lineal por $\boldsymbol{k}$

- Construir interpoladores cúbicos para $\Omega_i(N)$, $E(N)$, $\gamma(N)$, $\zeta(N)$.
- Para cada $k$integrar el vector

$$\mathbf{y}_k = \{\delta_m, \theta_m, \delta_r, \theta_r, \delta_S, \delta\dot{S}, \Phi\}$$

usando solve_ivp con method='RK45' o Radau si rígido. Implementar la ecuación de Poisson para Φy la relación $\delta H/H = -\frac{1}{2}(\Omega_m\delta_m + \Omega_r\delta_r + \Omega_S\delta_S)/E^2$(linealizada).

5. Condiciones iniciales

- **Fondo:** z_{ini}en era radiación (ej. $z_{\text{ini}} = 10^4$–10^6); $S(z_{\text{ini}})$pequeño; $S'(z_{\text{ini}}) \approx 0$; $\Omega_S(z_{\text{ini}}) \ll 1$.
- **Perturbaciones (superhorizonte):** adiabáticas: $\delta_r = \frac{4}{3}\delta_m$, $\delta_S \approx 0$, $\theta_i \approx 0$, Φconstante.

6. Observables y confrontación

- **H(z):** $H(N) = E(N)H_0$.
- **Ecuación de estado efectiva del residuo:**

$$w_{\text{eff}}(z) = -1 + \frac{1}{3}\frac{d\ln\ \rho_{\text{res}}}{d\ln\ a}.$$

- **Crecimiento:** factor $D(z)$a partir de $\delta_m(k, N)$en modo lineal; $f(z) = d\ln\ D/d\ln\ a$; $f\sigma_8(z) = f(z)\sigma_8(z)$.
- **Comparación con datos:** usar Cobaya/MontePython con likelihoods Planck-like (comprimidos), BAO, Pantheon y RSD.

7. Tests de verificación

- **Conservación total:** comprobar $\mid \Omega_m + \Omega_r + \Omega_S - E^2 \mid < \epsilon$con $\epsilon \sim 10^{-8}$.
- **Convergencia:** repetir con tolerancias más estrictas.
- **Estabilidad de perturbaciones:** scan en $k \in [10^{-4}, 1]$h/Mpc; verificar ausencia de modos no físicos.

Comparación con otras teorías existentes

1. ΛCDM

- **Diferencia:** ΛCDM usa una constante geométrica; TURC-V reemplaza Λpor un residuo dinámico con origen microfísico y un término viscous macroscópico.
- **Ventaja TURC-V:** posibilidad de derivación desde EFT y explicación de la coincidencia por acumulación histórica de Q.
- **Costo:** más parámetros y necesidad de justificar screening y microfísica.

2. Quintessence / Campos escalares

- **Similitud:** ambos usan campos escalares dinámicos.
- **Diferencia:** TURC-V incluye disipación derivada de integración de grados de libertad pesados y un término viscous que afecta directamente a la materia; la disipación está derivada causalmente (SK) y no es puramente fenoménica.

3. Interacting Dark Energy (IDE) y viscous cosmology

- **Similitud:** TURC-V genera Qque transfiere energía entre materia y DE; comparte efectos observacionales con IDE.
- **Diferencia clave:** muchos IDE son fenoménicos; TURC-V deriva $Q_\chi$desde microfísica y $Q_\zeta$desde termodinámica, reduciendo arbitrariedad.

4. Screening y pruebas locales

- TURC-V requiere mecanismos de screening (chameleon, symmetron, Vainshtein) o acoplamientos extremadamente pequeños para cumplir límites de quinta fuerza; esto es estándar en teorías escalares y existen implementaciones concretas.

Conclusión

TURC-V es una teoría unificada y falsable que combina un origen cuántico controlado del término fuente $\mathcal{J}$con una disipación macroscópica por viscosidad de volumen. Ofrece una ruta para derivar la energía oscura desde microfísica (integración de campos pesados en Schwinger–Keldysh) y para conectar efectos termodinámicos a escalas cosmológicas. La pequeñez de la energía residual se explica de forma natural por supresiones EFT (loop y masa) y por simetrías protectoras. TURC-V es compatible con datos actuales si los parámetros de disipación son suficientemente pequeños; su predicción distintiva es una ligera evolución de $w(z)$y una modificación del crecimiento que las próximas misiones podrán testar. El siguiente paso práctico es ejecutar el pipeline numérico descrito, ajustar parámetros con likelihoods oficiales y explorar mecanismos de screening concretos para garantizar compatibilidad con pruebas locales.